نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۶۵-۴۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 49-65

اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) در سطوح مختلف آبیاری در منطقه بم

نادر مدافع بهزادی[۱]- پرویز رضوانی مقدم[۲*]- محسن جهان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

به‌منظور مطالعه ویژگی‌های رشد، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد ایندیگوکارمین گیاه دارویی وسـمه (*Indigofera tinctoria* L.) در واکـنش بـه کودهای مختلف آلی و شیمیایی و مقادیر آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک، آزمایشی به‌صورت استریپ پلات در قالب طرح پایـه بلـوک‌هـای کامـل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بم در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. سه مقدار آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی خاک) به‌عنوان فاکتور اصلی و پنج منبع تغذیه گیاهی شامل کود زیستی میکوریزا (*Glomus intraradices*) (۲۰۰ گرم خاک تلقیح شده در هر متر طولی)، ورمی‌کمپوست (پنج تن در هکتار)، کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی (۸۰، ۱۵۰ و۱۵۰ به‌ترتیب شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و شاهد به‌عنوان فاکتور نواری در نظـر گرفته شدند. خصوصیات رویشی و عملکرد کیفی در دو چین اندازه‌گیری شدند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، قطر کانوپی، تعـداد شـاخه جـانبی، تعداد برگ در بوته، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد کل اندام‌های هوایی، محتوی ایندیگوکارمین در برگ و عملکرد ایندیگوکارمین بودنـد. نتایج نشان داد که افزایش محتوی رطوبتی خاک بر اساس ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری (p≤۰/۰۵) روی ارتفاع بوته، قطر کانوپی، وزن خشـک بـرگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد ایندیگوکارمین در هر دو چین داشت. در چین اول، وزن خشک برگ در مقدار آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ ٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۸۰۶/۶۷، ۶۸۰ و ۵۸۹/۳۳ گرم در متر مربع و در چـین دوم بـه‌ترتیـب ۸۲۰/۲۵، ۶۱۴/۲۱ و ۵۱۵/۷۸ گـرم در متـر مربـع به‌دست آمد. بیشترین عملکرد اندام‌های هوایی در هر دو چین برای سطح آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی حاصل شد. به‌طوری‌که در چـین‌هـای اول و دوم تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمارهای ۸۰ و ۶۰ ٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیب منجر به افزایش ۵۴ و ۳۰ درصـد در چـین اول و ۴۷ و ۲۳ درصـد در چین دوم عملکرد اندام‌های هوایی شد. بیشترین عملکرد ایندیگوکارمین در چین‌های اول و دوم برای مقدار آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیـب بـا ۴/۹۷ و ۳/۷۴ گرم در متر مربع حاصل شد. بیشترین وزن خشک برگ در چین اول و دوم در تیمار ورمی‌کمپوست به‌ترتیـب برابـر بـا ۷۵۱/۱۱ و ۷۶۹/۲۴ گرم در متر مربع به‌دست آمد. کاربرد کودهای ورمی‌کمپوست، دامی، شیمیایی و میکوریزا عملکرد ایندیگوکارمین را به‌ترتیب ۲۳، ۱۸، ۱۴ و ۱۰ درصـد در چین اول نسبت به شاهد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: ایندیگوکارمین، کود دامی، گیاه دارویی، میکوریزا، ورمی‌کمپوست

مقدمه

در دهه‌های اخیـر، اسـتفاده بـیش از حـد از کودهـای شـیمیایی مشکلات متعددی از قبیل تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری آب در خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی، تجمع نیترات و سمیت عناصر سنگین را در پی داشـته اسـت (Kızılkaya, 2008). در بسـیاری از مـوارد، کـاربرد کودهـای شـیمیایی گـران‌قیمـت باعـث بـروز انـواع آلودگی‌های زیست محیطی و صدمات اکولوژیکی شده کـه افـزایش هزینـه‌هـای تولیـد را نیـز بـه دنبـال دارد (Lee, 2010). یکـی از راهکارهای رفع این مشکل، استفاده از اصول کشاورزی پایدار به‌ویـژه مصرف نهاده‌های آلی در بوم‌نظام‌های زراعـی مـی‌باشـد. بـه منظـور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که علاوه بر تأمین نیازهای گیاه و کاهش مخاطرات زیسـت‌محیطی، جنبـه‌هـای اکولـوژیکی سیسـتم را بهبـود بخشـند، ضـروری بـه‌نظـر مـی‌رسـد (Kızılkaya, 2008).

۱- دانشجوی دکتری زراعت گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشـاورزی، دانشـگاه فردوسـی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.54983

بدون تردید، کاربرد کودهای آلی و دامی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی علاوه بر اثرات مثبت بر خصوصیات خاک شامل حفظ کیفیت و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی، از جنبه‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز مثمر ثمر واقع شده و می‌توانند جایگزین مناسب و مطلوبی برای کودهای شیمیایی در بلندمدت باشند (Lee, 2010). علاوه بر کودهای آلی، استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی با هدف افزایش باروری خاک و تولید محصولات به منظور جایگزین نمودن آنها به‌جای نهاده‌های شیمیایی نیز جایگاه قابل توجهی در کشاورزی پایدار دارد (Warrier *et al*., 2007). کاربرد کود دامی در خاک باعث پوک شدن خاک (Gutiérrez-Miceli *et al*., 2008)، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک (Sallaku and Shaalan, 2005) و دانه‌بندی خاک شده و ویژگی‌های فیزیکی آن‌را نیز بهبود می‌بخشد، ضمن این که با افزایش قدرت حاصلخیزی خاک، رشد محصول را افزایش می‌دهد (Sabet Teimouri, 2013). خرم دل و همکاران (Khorramdel *et al*., 2015) با بررسی اثر سطوح مصرف کود دامی بر عملکرد بذر و اسانس زیره سیاه (*Bonium persicum* Bioss) بیان داشتند که با افزایش مصرف کود دامی رشد و عملکرد کمی و کیفی این گیاه ارزشمند دارویی بهبود یافت؛ به طوری‌که بالاترین عملکرد دانه با ۱۶۴/۲۰ گرم بر متر مربع متعلق به تیمار ۳۵ تن کود دامی در هکتار بود. همچنین نتایج آنها نشان داد که بالاترین عملکرد اسانس برای مصرف ۴۰ تن کود دامی و وزن غده بیش از چهار گرم با ۱۴/۲۵ گرم بر متر مربع به‌دست آمد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam *et al*., 2015) نیز نشان دادند که کاربرد کودهای آلی موجب افزایش تعداد کاپیتول در واحد سطح، عملکرد کاپیتول، عملکرد گلبرگ و عملکرد دانه در همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) شد.

نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که کارایی کودهای آلی در حضور کودهای زیستی تشدید می‌گردد. به‌عنوان مثال، در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد همزمان نیتروکسین و کودهای ورمی‌کمپوست عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) را افزایش داد، به‌طوری‌که کاربرد جداگانه کودهای آلی اثر چندانی بر صفات مورد مطالعه نداشت، ولی زمانی‌که این کود به همراه نیتروکسین استفاده شد، اکثر صفات مورد مطالعه را بهبود بخشید (Sajadi Nik and Yadavi, 2013). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel *et al*., 2008b) گزارش نمودند که تلقیح با انواع کودهای زیستی و قارچ میکوریزا خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa*) را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. این محققین در مطالعه‌ای دیگر، بیان داشتند که تلقیح با این قارچ همزیست، منجر به بهبود شاخص‌های رشدی سیاهدانه شد (Khorramdel *et al*., 2008a). نتایج مطالعه‌ای دیگر نیز مؤید تأثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی بر روی رشد و عملکرد گیاه کنجد بود (Khorramdel *et al*., 2013).

آب مهمترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران به شمار می‌رود (Koocheki *et al*., 2007). متوسط بارندگی ایران که از نظر اقلیمی در منطقه‌ای نیمه‌خشک قرار گرفته، ۲۲۵ میلی‌متر در سال است که همین بارندگی اندک نیز با توزیع مکانی نامناسبی رخ می‌دهد، به شکلی‌که ۵۰ درصد آن در ۲۴ درصد مساحت کشور روی می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده است که حاصلخیزی زیاد و بالا بودن رطوبت نسبی خاک از طریق افزایش آماس سلولی باعث تحریک رشد رویشی و تجمع ماده خشک شده و بر عکس، بروز تنش رطوبتی و حاصلخیزی کم محدودیت رشد رویشی و کاهش تولید ماده خشک در گیاهان را به دنبال دارد (De-Abreu and Mazzafera, 2005). در همین راستا، رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam *et al*., 2004) گزارش کردند که با کاهش فاصله آبیاری عملکرد دانه و میزان تجمع ماده خشک در کرچک (*Ricinus communis*) افزایش یافت؛ به طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۱/۱۶ تن در هکتار) در فاصله آبیاری یک هفته و کمترین آن (۰/۳۹ تن در هکتار) در فاصله آبیاری چهار هفته مشاهده شد. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2013) با بررسی اثر فاصله آبیاری بر رشد و عملکرد مرزنجوش (*Origanum majorana*) اظهار داشتند که با افزایش فاصله آبیاری و اعمال تنش رطوبتی، رشد و شاخص‌های رشدی این گیاه دارویی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norozpoor and Rezvani Moghaddam, 2006) گزارش کردند که فواصل آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، درصد روغن، درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد روغن سیاهدانه داشت. به طوری‌که افزایش فواصل آبیاری موجب کاهش درصد و عملکرد روغن و عملکرد اسانس شد. دور آبیاری هفت روز و تراکم ۲۵۰ بوته در متر مربع بیشترین عملکرد روغن (۴۱۰/۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۱۴/۰۸ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد.

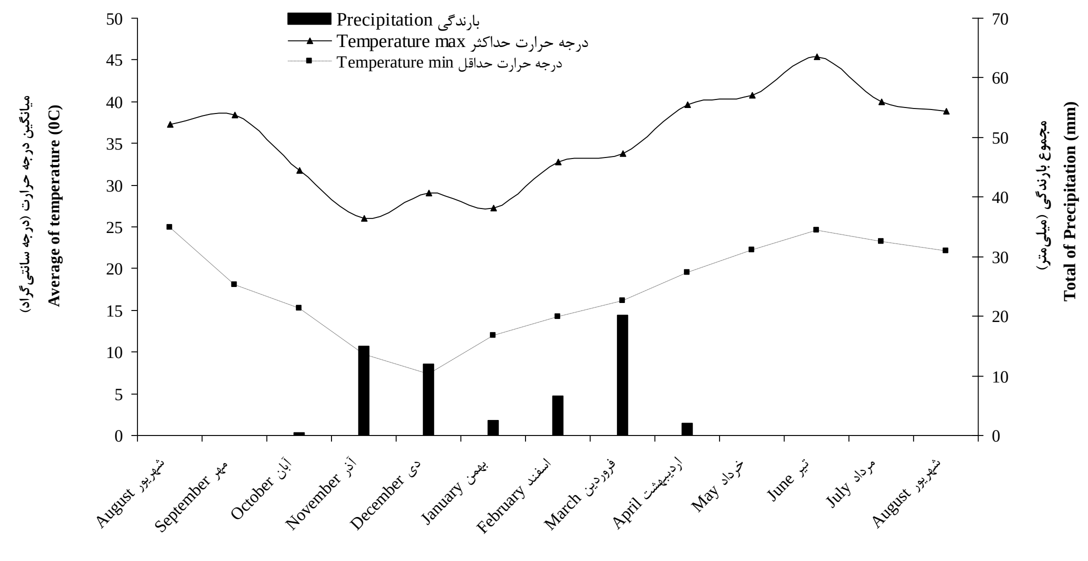
وسمه یا نیل با نام علمی *Indigofera tinctoria* L. گیاهی صنعتی و فراموش‌شده متعلق به خانواده حبوبات (Fabaceae) می‌باشد. این گیاه یکساله، دوساله یا چندساله (Pramod *et al*., 2010) بوده که ارتفاع آن به یک الی دو متر می‌رسد. برگ‌ها دارای ۲/۵ الی ۷/۵ سانتی‌متر طول و گوشوارک‌های کوچک می‌باشد. گل‌های صورتی رنگ به طول چهار میلی‌متر روی دمگلی به طول ۵ الی۱۰ سانتی‌متر واقع شده‌اند. وسمه توانایی بالایی در رشد مجدد پس از برداشت داشته و حساسیت کم این گیاه نسبت به حمله آفات و بیماری‌ها در شرایط آب و هوایی گرم از جمله دلایل افزایش عملکرد این گیاه می‌باشد (Sales *et al*., 2006). اجزای تشکیل‌دهنده ماده مؤثره وسمه شامل آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و

ترکیبات فنولیک، مواد معدنی و سایر مواد همچون خاکستر، خاکستر محلول در اسید، خاکستر محلول در آب و غیره می‌باشند. اجزای اصلی عصاره خام وسمه شامل دو رنگدانه آبی رنگ ایندیگوکارمین و قرمز رنگ ایندیروبین است (Chanayath *et al*., 2002). ایندیگوکارمین (Indigo) به‌عنوان فرآورده طبیعی، متابولیتی ثانویه است (Sales *et al*., 2006). از جمله خواص دارویی وسمه که اثر ملین، خلط‌آور، ضدکرم‌های انگل روده، درمان بیماری‌های دیابت، صرع، تقویت کبد، برونشیت‌های مزمن و آسم کاربرد دارد (Pramod *et al*., 2010).

بنابراین، شناخت نیازهای به‌زراعی گیاه دارویی و صنعتی فراموش‌شده وسمه و نقش عوامل مدیریتی در تولید رنگ‌های طبیعی، از یک سو می‌تواند ضمن افزایش و بهبود معیشت تولیدکنندگان این محصول از خروج ارز برای تهیهٔ رنگ‌های شیمیایی نیز تا حدود زیادی بکاهد و از سوی دیگر، بازار جهانی برخی از صنایع از جمله فرش ایرانی را دوباره پررونق کند. بدین ترتیب، این آزمایش با هدف تعیین مناسب‌ترین منبع تغذیه‌ای و بهترین مقدار آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی به منظور افزایش عملکرد و خصوصیات کیفی گیاه ارزشمند دارویی- صنعتی وسمه در شرایط آب و هوایی بم طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت استریپ پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بم با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۵۰ متری از سطح دریا در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به اجرا در آمد. اقلیم شهرستان بم بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه گرم و خشک و بر اساس آمار هواشناسی منطقه، حداکثر و حد اقل دما به‌ترتیب ۴۵ و ۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل و مجموع بارندگی ماهیانه طی دوره کاشت تا رسیدگی گیاه وسمه در شرایط آب و هوایی بم طی دوره آزمایش (سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱)

Figure 1- Average temperature of minimum and maximum and total monthly precipitation during planting and maturity of idigo in the weather of bam during experimental period (growing season of 2012-2013)

سه مقدار آبیاری شامل آبیاری در ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (Field Capacity) به‌عنوان فاکتور اصلی و پنج منبع تغذیه گیاهی شامل کود زیستی میکوریزا (۲۰۰ گرم خاک تلقیح شده در هر متر طولی)، ورمی‌کمپوست (پنج تن در هکتار)، کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی (۸۰، ۱۵۰ و۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و شاهد به‌عنوان فاکتور نواری در نظر گرفته شدند.

قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک با استفاده از اُگر انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

به منظور آماده‌سازی زمین، دو ماه قبل از کاشت عملیات آماده‌سازی بستر کاشت شامل دو نوبت شخم عمود بر هم و سپس تسطیح زمین انجام گرفت. کودهای فسفاته و پتاسه قبل از کاشت و کود نیتروژن به‌صورت اوره در سه نوبت همزمان با کاشت، بعد از تنک و بعد از برداشت بوته‌ها در چین اول به خاک اضافه شدند. کودهای

گاوی و ورمی‌کمپوست همزمان با اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، داخل کرت‌های مربوطه پخش و با لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌طور کامل مخلوط شد. ویژگی‌های شیمیایی کودهای دامی و ورمی‌کمپوست مورد استفاده به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت

Table 1- Chemical and physical characteristics of soil before planting

شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($mmohs.cm^{-1}$)	اسیدیته pH
70.2	15.8	14	102	3.8	0.5	0.7	2	7.63

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود دامی مورد استفاده

Table 2- Chemical criteria of used cow manure

ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
6.1	0.15	0.39	0.22	6.60	9.30

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Table 3- Chemical criteria of used vermicompost

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
7.7	8.3	3.15	381.2	2391

لازم به ذکر است محاسبه مقدار عناصر غذایی مورد نیاز گیاه وسمه بر اساس نتایج آنالیز خاک مزرعه مورد مطالعه و بر پایه توصیه کودی تحقیقات انجام شده (Sales *et al*., 2006) اعمال گردید. همچنین مقادیر محاسبه شده بر مبنای تجزیه خصوصیات شیمیایی و میزان عناصر غذایی کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست معادل و به خاک اضافه گردید. بذرهای مورد استفاده به صورت دستی از منطقه شهرستان ریگان جمع‌آوری و تا قبل از شروع آزمایش در یخچال و محیط خشک نگهداری شدند.

ابعاد کرت‌های فرعی ۵×۳ متر بود. بذرها به صورت دستی روی شش ردیف با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (بر مبنای تراکم ۲۰ بوته در متر مربع) در ۱۵ فروردین ماه کشت شدند. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب یک و دو متر فاصله به‌عنوان راهرو در نظر گرفته شد. انتهای کلیه کرت‌ها با خاکریزی مسدود شد. قابل به ذکر است برای تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) ابتدا یک شیار به عمق ۵ سانتی‌متر روی هر ردیف ایجاد و براساس دستوالعمل شرکت مربوطه (وابسته به جهاد کشاورزی استان همدان) بر روی هر متر طولی ۲۰۰ گرم خاک تلقیح شده با میکوریزا قرار داده و پس از پخش بذر وسمه، شیار ایجاد شده با خاک به‌طور کامل پوشانیده شد.

اندازه‌گیری ظرفیت زراعی بر مبنای روش ارائه شده توسط علیزاده (Alizadeh, 2011) انجام شد. بر این اساس، ابتدا در مزرعه کرتی با ابعاد ۲×۲ متر مربع تهیه و بعد از مسطح شدن به‌طور کامل از آب اشباع شد (لازم به ذکر است صبر شد تا آب به‌طور کامل به درون خاک نفوذ نماید). رطوبت در اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک (به‌دلیل توسعه یافته و عمیق بودن سیستم ریشه‌ای وسمه) در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری گردید. زمان نزدیک شدن دو اندازه‌گیری متوالی به یکدیگر، این مقدار به‌عنوان ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. قابل به ذکر است که قبل از تعیین مقدار نهایی به‌عنوان ظرفیت زراعی، برای حصول اطمینان بیشتر نه‌بار نمونه‌برداری انجام شد که حدود ۲۴ ساعت به‌طول انجامید. برای جلوگیری از تبخیر سطحی، خاک با پلاستیک مشکی پوشانیده شد. بعد از اشباع، هر سه ساعت یکبار از اعماق مورد نظر نمونه‌برداری و هر دفعه نمونه‌ها از محل‌های مختلف برداشت گردید. برای گزارش عدد نهایی، میانگین درصد رطوبت در دو عمق مختلف ثبت شد. برای جلوگیری از نشت آب از کرت‌ها و همچنین یکسان و یکنواخت نگه داشتن حجم آب، کرت‌ها قبل از هر نوبت آبیاری به صورت روزانه

توسط کارگر به دقت ترمیم شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار تا مرحله ۴-۳ برگی انجام شد. از این مرحله تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌های وسمه، اقدام به اعمال تیمارهای آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی خاک شد. مقدار وزن مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه برابر با ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میزان ظرفیت زراعی بر اساس رطوبت وزنی ۰/۲۰ درصد برآورد شد.

با تعیین جرم مخصوص ظاهری و درصد جرمی رطوبت خاک، ارتفاع آب در لایه توسعه ریشه با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$d= (\Theta^{m})(b\rho)(z) \qquad (۱)$$

در این معادله، $b\rho$: جرم مخصوص ظاهری خاک خشک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Z: عمق توسعه ریشه بر حسب متر، Θ^{m}: نسبت جرمی رطوبت و d: ارتفاع آب موجود در عمق توسعه ریشه بر حسب متر (۰/۴) می‌باشد.

بر این اساس، میزان آب برابر با ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۳-۲ محاسبه شد:

مقدار آب در عمق توسعه ریشه (متر) =(۱/۵)×(۰/۲۰)×(۰/۴)= ۰/۱۲ (۲)

میزان آب مورد استفاده در یک متر مربع مزرعه ۰/۱۲ متر مکعب و در یک هکتار ۱۲۰۰ مترمکعب آب محاسبه شد. با توجه به اینکه در طول فصل رشد گیاه ۲۴ بار آبیاری به شیوه قطره‌ای و با استفاده از کنتور حجمی انجام شد، همچنین میزان آب مورد استفاده در طول فصل رشد گیاه ۲۸۸۰۰ متر مکعب محاسبه گردید.

در طی دوره آزمایش تعدادی شته سیاه و مگس سفید مشاهده شد که بر مبنای بازدیدها مشخص گردید که با کفشدوزک هفت‌نقطه‌ای به صورت بیولوژیک کنترل شدند. لازم به ذکر است در طول دوره آزمایش از هیچ‌گونه سم شیمیایی استفاده نشد.

به منظور تعیین عملکرد اندام‌های هوایی، بوته‌ها در چین‌های اول و دوم در زمان شروع گلدهی در نیمه اول مرداد و نیمه دوم مهر ماه برداشت شدند. بوته‌ها از سطح شش متر مربع با حذف اثر حاشیه‌ای با استفاده از داس از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت شدند. سپس بوته‌ها به مدت یک ماه در سایه و هوای آزاد بر سطح زمین پخش شدند و بعد از انتقال به آزمایشگاه، وزن خشک اندام‌های هوایی به تفکیک برگ و ساقه با ترازوی با دقت یک صدم اندازه‌گیری شد. ضمن این‌که مقداری از برگ‌ها جهت تعیین درصد ایندیگوکارمین به آزمایشگاه ارسال شد.

محتوی ایندیگوکارمین در برگ‌ها بر مبنای روش‌های ارائه شده توسط استوکر و همکاران (Stoker *et al*., 1998) و سالس و همکاران (Sales *et al*., 2006) اندازه‌گیری و تعیین شد. برای این منظور، برگ‌ها توسط آسیاب به قطعات کوچک خرد و به میزان یک گرم توزین و در سانتریفیوژ قرار داده شد. ده سی‌سی آب مقطر به لوله‌های حاوی نمونه برگ اضافه و لوله‌ها در بن ماری به مدت ۱۰ دقیقه گذاشته شدند. سپس به سرعت در حمام آب یخ سرد و به‌وسیله NaOH اسیدیته آن به ۱۱ رسانیده شد. سی ثانیه در لوله‌ها به حالت آزاد هوادهی شدند و تا رسیدن به دمای آزمایشگاه (۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) نگه داشته شد. یک ساعت بعد از آن به‌وسیله اسید کلریدریک، اسیدیته نمونه به ۲-۱ رسانیده شد. بعد از ۳۰ دقیقه مطابق با نمودار استاندارد نمونه‌ها تهیه و بعد از پنج دقیقه سانتریفیوژ در دور ۵۰۰۰ هزار در دقیقه و در طول موج ۶۱۱ نانومتر قرائت شد. نمودار استاندارد به میزان هشت میلی‌گرم ایندیگو خالص در ۲۰ سی‌سی اسید سولفوریک و تا رسیدن به حجم ۵۰۰ آب مقطر اضافه شد و سپس از این محلول پایه غلظت‌های دیگر تهیه شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش گیاهی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع وسمه در هر دو چین تحت تأثیر سطوح آبیاری اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($p\leq۰/۰۵$)، در حالی‌که مقدار آبیاری تأثیر معنی‌داری بر قطر تاج‌پوشش گیاهی نداشت (جدول ۴). بیشترین ارتفاع و قطر تاج‌پوشش در چین اول مربوط به تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب برابر با ۸۴ و ۲۵/۵ سانتی‌متر بود (جدول ۵). با کاهش میزان آب و کاهش مقدار آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰٪ ظرفیت زراعی در چین دوم ارتفاع و قطر تاج‌پوشش بوته به‌ترتیب ۶ و ۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). دمای بالای هوا (شکل ۱) و همچنین خاک سبک و فقیر از ماده آلی در منطقه مورد آزمایش (جدول ۱) از جمله عواملی هستند که نقش به‌سزایی بر محتوای آب خاک دارند. مقدار آب آبیاری می‌تواند نقش بسیار مهمی در تأمین رطوبت مورد نیاز و در نتیجه رشد و نمو گیاه وسمه ایفاء نماید. به‌طوری‌که نتایج نشان داد بالاترین صفات مورفولوژیکی اعم از ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش گیاهی برای سطح آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. البته اختلاف معنی‌داری با سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت (جدول ۵).

کاربرد منابع مختلف تغذیه‌ای روی صفات رویشی وسمه شامل ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش وسمه تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴)، به‌طوری‌که در چین‌های اول و دوم بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب با ۸۶/۴ و ۱۰۳/۹ سانتی‌متر در شرایط کاربرد کود دامی حاصل شد. بیشترین قطر تاج‌پوشش گیاهی در این چین‌ها به‌ترتیب با ۲۷ و ۳۷

سانتی‌متر مربوط به کود دامی بود. کمترین ارتفاع بوته در چین‌های اول و دوم برای شاهد به‌ترتیب با ۷۷/۲ و ۹۲ سانتی‌متر به‌دست آمد. کمترین قطر تاج‌پوشش گیاهی برای شاهد به‌ترتیب با ۲۱/۸ و ۲۸/۷ سانتی‌متر ثبت گردید (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که علت افزایش ارتفاع بوته و قطر تاج پوشش تحت تأثیر مصرف کودهای آلی مربوط به تولید مواد تحریک‌کننده رشد، بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی (Arancon *et al*., 2005) می‌باشد. همچنین احتمالاً کود دامی و ورمی‌کمپوست با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک (Shabahang *et al*., 2013) باعث ایجاد شرایط مناسب‌تری در مقایسه با سایر تیمارهای کودی و به‌ویژه عدم مصرف کود برای رشد وسمه شده‌است. برخی مطالعات (Gutiérrez-Miceli *et al*., 2008) نیز به نقش مثبت کودهای آلی در بهبود پتانسیل ذخیره آب در خاک اشاره کرده‌اند.

از طرفی، با توجه به اینکه کودهای آلی و به‌ویژه کود دامی از نظر آزادسازی عناصر غذایی در کوتاه‌مدت نسبت به کودهای شیمیایی به‌طور نسبی تدریجی‌تر عمل می‌کنند (Koocheki *et al*., 2004)، لذا بالاتر بودن ارتفاع و قطر بوته در چین دوم نسبت به چین اول (به‌ترتیب برابر با ۲۱ و ۵۵ درصد) (جدول ۶)، منطقی به نظر می‌رسد. تبریزی (Tabrizi, 2005) نیز اظهار داشت که کود دامی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته اسفرزه نداشت. یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki *et al*., 2010) نیز نشان دادند که اثر کمپوست بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی ماریتیغال معنی‌دار نبود.

در پژوهشی، گزارش شد که مصرف کود دامی دارای بیشترین تأثیر بر ارتفاع گیاه دارویی آویشن بود و علت این امر به محتوی نیتروژن بالای این کود نسبت داده شد (Hendawy *et al*., 2010). نتایج مطالعه بالندری (Balandari, 2011) روی کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilium* Jacq) نیز نشان داد که افزایش کود دامی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع و قطر بوته این گیاه دارویی نداشت. با توجه به سبک بودن بافت خاک و فقر آن از نظر ماده آلی (جدول ۱)، به نظر می‌رسد که علاوه بر کاهش محتوی رطوبتی خاک، وجود شرایط آب و هوایی نسبتاً گرم در منطقه بم (شکل ۱) شرایط را برای تأثیر بیشتر قارچ‌های میکوریزا به‌واسطه برقراری رابطه همزیستی نامناسب نموده است. با این‌وجود، همزیستی با قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد موجب افزایش پنج و کمتر از یک درصدی ارتفاع بوته به‌ترتیب طی چین‌های اول و دوم شد (جدول ۵).

تعداد شاخه جانبی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد شاخه جانبی وسمه تحت تأثیر سطوح آبیاری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($p\leq0.05$) (جدول ۴). با این‌وجود، در چین اول بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته در سطح آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی با ۵/۱ شاخه جانبی در بوته و کمترین آن در سطح آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی با ۳/۸ شاخه جانبی در بوته به‌دست آمد. در چین دوم نیز با کاهش مقدار آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ ٪ ظرفیت زراعی تعداد شاخه جانبی در بوته ۱۴ درصد کاهش یافت (جدول ۵). شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی یک صفت نامطلوب محسوب می‌شود، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف رطوبت از طریق تعرق می‌گردد. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که در وسمه نیز با کاهش مقدار رطوبت و افزایش شدت بروز تنش خشکی به دلیل کاهش آماس سلولی از رشد رویشی گیاه کاسته شده و از آنجا که در شرایط بروز تنش خشکی، استراتژی گیاه این است که با حداقل رشد رویشی وارد مرحله رشد زایشی شود و دوره رشد خود را به سرعت به اتمام برساند، بنابراین، تعداد شاخه جانبی روندی کاهشی نشان داد. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2007) گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری تعداد شاخه جانبی در دو گونه دارویی اسفرزه[1] و پسیلیوم[2] روند کاهشی داشت. امین غفوری (Aminghafouri, 2014) نشان داد که افزایش حجم آبیاری از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار موجب بهبود ۲۲ درصدی تعداد شاخه جانبی کاکوتی[3] چندساله گردید.

نوع منبع تغذیه‌ای تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی وسمه در هیچ‌کدام از چین‌های آزمایش نداشت (جدول ۴)، با این‌وجود، بیشترین تعداد شاخه جانبی در چین‌های اول و دوم مربوط به کود دامی (به‌ترتیب با ۵/۰ و ۱۰/۰ شاخه جانبی در بوته) و کمترین آن مربوط به شاهد (به‌ترتیب با ۳/۵ و ۸/۶ شاخه جانبی در بوته) بود (جدول ۵). اگرچه کودهای مختلف با فراهمی و دسترسی عناصر غذایی موجب بهبود رشد می‌شوند، ولی به نظر می‌رسد که تعداد شاخه جانبی در بوته صفتی ژنتیکی است که کمتر تحت تأثیر مدیریت زراعی قرار می‌گیرد. با این‌وجود، با توجه به وجود عناصرغذایی در کودهای آلی و تأثیری که این کودها در فراهمی و جذب عناصر غذایی و بهبود محتوی رطوبتی خاک دارند (Lee, 2010)، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در شرایط استفاده از این کودها منطقی به‌نظر می‌رسد. یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki *et al*., 2010) نیز در گیاه دارویی ماریتیغال روند مشخصی را در رابطه با تعداد شاخه جانبی با کاربرد کودهای آلی مشاهده نکردند.

تعداد شاخه جانبی در چین دوم نسبت به چین اول ۱۰۰ درصد بالاتر بود (جدول ۶). به نظر می‌رسد که برداشت گیاه در چین اول از

1- *Plantago ovata*

2- *Plantago psyllium*

3- *Ziziphora clinopodioides*

طریق تحریک رشـد (Yazdani *et al*., 2015)، تولیـد شـاخه‌هـای جانبی را افزایش داده است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح آبیاری و منبع تغذیه‌ای بر خصوصیات مرفولوژیکی، عملکرد کمی و کیفی گیاه وسمه طی دو چین

Table 4- Variance analysis (mean of squares) for the effects of drought stress levels and nutrient resources on morphological criteria and quantitative and qualitative yield of indigo at two cuttings

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f.	ارتفاع بوته Plant height	قطر کانوپی Canopy diameter	تعداد شاخه جانبی Number of branch	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots	عملکرد کل اندام‌های هوایی Total yield of shoots	محتوی ایندیگوکارمین Indigocarmin content	عملکرد ایندیگوکارمین Indigocarmin yield
چین اول The first cutting										
تکرار Replication	2	303.83 ns	18.15 ns	2.42 ns	639.26 ns	16862.00**	84986.66 ns	227706.10 ns	0.00002 ns	0.54 ns
سطح آبیاری Irrigation level	2	146.90**	15.08 ns	6.03 ns	12319.55**	84862.22**	238160.00**	828026.34**	0.0012 ns	0.72**
خطا Error	4	29.11	13.62	21.99	1528.29	53355.55	38826.66	138133.30	0.00002	1.80
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	4	105.65 ns	76.74 ns	4.04 ns	312.28 ns	21177.77 ns	26520.00 ns	86902.02 ns	0.001 ns	1.35*
خطا Error	8	19.76	19.76	1.71	1498.56	1498.56	18153.78	49828.88	0.0003	0.64
منبع تغذیه‌ای × سطح آبیاری Nutrient resources × irrigation level	8	44.44 ns	45.97 ns	3.49 ns	929.01 ns	8717.77 ns	32826.12 ns	93184.79 ns	0.0007 ns	0.35 ns
خطا Error	16	19.45	22.99	3.53	661.19	14044.44	27935.45	96055.55	0.0003	0.54
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.34	15.39	10.94	4.05	6.20	7.49	5.98	10.11	3.97
چین دوم The second cutting										
تکرار Replication	2	310.46 ns	124.08 ns	2.42 ns	11618.45 ns	127191.00 ns	799364.88 ns	127191.89 ns	0.0002 ns	4.64 ns
سطح آبیاری Irrigation level	2	124.67**	56.02 ns	6.78 ns	12254.11**	255632.11**	313203.67*	235632.11**	0.010 ns	13.57**
خطا Error	4	415.13	4.75	21.91	1499.55	28084.33	164359.23	28084.01	0.0001	1.24
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	4	174.88ns	120.38 ns	4.02 ns	1481.75 ns	72297.40**	291049.42 ns	75297.90 ns	0.0013 ns	2.79**
خطا Error	8	151.10	12.42	1.77	11987.23	194444.48	144199.82	19446.88	0.0001	0.78
منبع تغذیه‌ای × سطح آبیاری Nutrient resources × irrigation level	8	236.35 ns	12.65 ns	3.60 ns	3605.52 ns	69244.77 ns	258690.60 ns	69244.02 ns	0.0011 ns	2.28 ns
خطا Error	16	257.52	40.29	3.68	2985.20	30444.41	106168.89	30441.42	0.0002	1.34
ضریب تغییرات CV (%)		7.10	8.92	11.23	2.06	4.54	9.65	13.19	7.98	6.12

** و * : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

*, ** and ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده منبع تغذیه‌ای و مقدار آبیاری بر خصوصیات مرفولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی گیاه وسمه طی دو چین

Table 5- Mean comparison for the effects of nutrient resources and drought stress level on morphological criteria and quantitative and qualitative yield of indigo at two cuttings

تیمار Treatment		ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر کانوپی Canopy diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branch per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots (g m^{-2})	وزن خشک کل اندام‌های هوایی Dry yield of shoots (g m^{-2})	محتوی ایندیگوکارمین Indigocarmin content (%)
چین اول The first cutting								
مقدار آبیاری Irrigation level (%FC)	100	84.03^{a}	25.46^{a}	5.06^{a}	164.83^{a}	874.67^{a}	1589.30^{a}	0.61^{a}
	80	83.80^{a}	24.33^{a}	4.50^{a}	144.93^{ab}	654.78^{ab}	1334.70^{ab}	0.62^{a}
	60	75.50^{b}	20.46^{a}	3.80^{a}	108.33^{b}	530.24^{b}	1120.00^{b}	0.63^{a}
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	شیمیایی NPK	82.61^{a}	25.88^{a}	4.83^{a}	139.11^{a}	639.33^{a}	1340.00^{a}	0.61^{a}
	دامی Cow manure	86.38^{a}	27.00^{a}	5.00^{a}	148.22^{a}	720.00	1471.11^{a}	0.64^{a}
	ورمی کمپوست Vermicompost	83.66^{a}	26.00^{a}	4.94^{a}	141.17^{a}	635.21^{a}	1413.30^{a}	0.62^{a}
	میکوریزا Mycorrhiza	80.66^{a}	21.17^{a}	4.00^{a}	135.39^{a}	633.60^{a}	1295.60^{a}	0.61^{a}
	شاهد Control	77.22^{a}	29.68^{a}	3.50^{a}	132.94^{a}	580.08^{a}	1220.00^{a}	0.61^{a}
چین دوم The second cutting								
مقدار آبیاری Irrigation level (%FC)	100	101.15^{a}	35.46^{a}	10.06^{a}	171.90^{a}	1019.12^{a}	1829.30^{a}	0.59^{b}
	80	97.33^{a}	34.50^{a}	9.50^{a}	133.23^{b}	845.20^{b}	1489.90^{ab}	0.59^{b}
	60	95.50^{b}	29.73^{b}	8.80^{a}	116.79^{b}	731.54^{b}	1299.91^{b}	0.64^{a}
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	شیمیایی NPK	98.98^{a}	35.11^{a}	9.83^{a}	145.32^{a}	867.03^{a}	1520.40^{a}	0.61^{a}
	دامی Cow manure	103.88^{a}	37.66^{a}	10.00^{a}	154.18^{a}	1151.10^{a}	1924.10^{a}	0.62^{a}
	ورمی کمپوست Vermicompost	100.76^{a}	36.33	9.94^{a}	147.00^{a}	869.60^{a}	1611. 30^{a}	0.61^{a}
	میکوریزا Mycorrhiza	92.46^{a}	31.45^{a}	9.00^{a}	138.47^{a}	770.87^{a}	1427.70^{a}	0.60^{a}
	شاهد Control	92.01^{a}	28.78^{a}	8.50^{a}	119.87^{a}	670.07^{a}	1207.60^{a}	0.60^{a}

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، دارای تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون دانکن نمی‌باشند ($p \leq ۰/۰۵$).

* Means in each column and for each trait, with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

تعداد برگ در بوته: تعداد برگ در بوته از جمله شاخص‌های مهم نشان‌دهنده وضعیت رشد و نمو در گیاه است. افزایش یا کاهش تعداد برگ به‌طور مستقیم بر میزان فتوسنتز و تولید گیاه تأثیر می‌گذارد. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، اثر مقدار آبیاری در هر دو چین بر تعداد برگ در بوته وسمه معنی‌دار بود (p≤۰/۰۱). به طوری‌که شرایط بدون تنش (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) در چین اول با ۱۶۴/۸ برگ در بوته بالاترین تعداد برگ را تولید نمود که افزایش ۱۴ و ۵۲ درصدی در مقایسه با کاهش مقدار آبیاری به‌ترتیب در شرایط ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی محاسبه گردید. همچنین در چین دوم و کاهش مقدار آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی تعداد برگ در بوته ۲۱ درصد نسبت به کاهش مقدار آبیاری بر اساس ۶۰٪ ظرفیت زراعی افزایش یافت (جدول ۵). از آنجا که کاهش محتوی رطوبتی خاک سبب افزایش قدرت رقابتی بوته‌ها برای جذب آب می‌گردد، لذا سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به اندام‌های زیرزمینی (ریشه) اختصاص داده می‌شود که این امر از طریق کاهش سهم تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی کاهش تعداد برگ در بوته را به دنبال داشته است (Carruba *et al*., 2002). نتایج سایر مطالعات نیز نشان داده است که در گیاهان دارویی دیگر، بروز تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های رشدی از جمله تعداد برگ می‌شود.

این مطلب در گیاهان دارویی نظیر بادرنجبویه[1] (Aliabadi Farahani *et al*., 2009) و آویشن[2] (*Thymus vulgaris*) (Khazaie *et al*., 2008) به اثبات رسیده است.

اگرچه اثر منابع مختلف تغذیه‌ای بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار نبود (p≤۰/۰۵) (جدول ۴). با این‌حال، مصرف کودهای آلی و شیمیایی منجر به افزایش تعداد برگ در بوته در مقایسه با شاهد شد. بیشترین تعداد برگ در بوته در چین‌های اول (۱۴۸/۲ برگ در بوته) و دوم (۱۵۴/۲ برگ در بوته) در شرایط مصرف کود دامی مشاهده شد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای آلی از طریق تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک (Pramod *et al*., 2010)، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأثیر بر فراهمی و جذب بیشتر عناصر غذایی (Mao *et al*., 2008)، سبب افزایش فتوسنتز (Atiyeh *et al*., 2001) شدند که این مسئله در نهایت، به واسطه بهبود شرایط رشدی برای بوته‌ها به افزایش تعداد برگ منجر شد. لیوک و پانک (Liuc and Pank, 2005) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست در گیاه بابونه رومی[3] باعث افزایش شاخص‌های مرفولوژیک از جمله تعداد برگ و گل در بوته گردید. تعداد برگ در بوته با مصرف کودهای

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر نوبت چین بر صفات مرفولوژیکی، عملکرد کمی و کیفی گیاه وسمه

Table 6- Mean comparison for the effect of cutting time on morphological criteria and quantitative and qualitative yield of indigo

نوبت چین Cutting time	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر کانوپی Canopy diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of branch	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک برگ Dry weight of leaf (g m^{-2})	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots (g m^{-2})	وزن خشک کل اندام‌های هوایی Dry yield of above ground matter (g m^{-2})	محتوی ایندیگوکارمین Indigocarmin content (%)	عملکرد ایندیگوکارمین Indigocarmin yield (g m^{-2})
اول First	81.87^{b}	21.83^{b}	7.38^{a}	139.34^{b}	678.44^{b}	577.54^{b}	1347.75^{b}	0.61^{a}	4.19^{b}
دوم Second	98.72^{a}	33.88^{a}	16.38^{b}	294.31^{a}	771.37^{a}	866.85^{a}	1390.87^{a}	0.60^{a}	4.85^{a}

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، دارای تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون دانکن نمی‌باشند (p≤۰/۰۵).

* Means in each column and for each trait, with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's test (p≤0.05).

1- *Melissa officinalis* L.

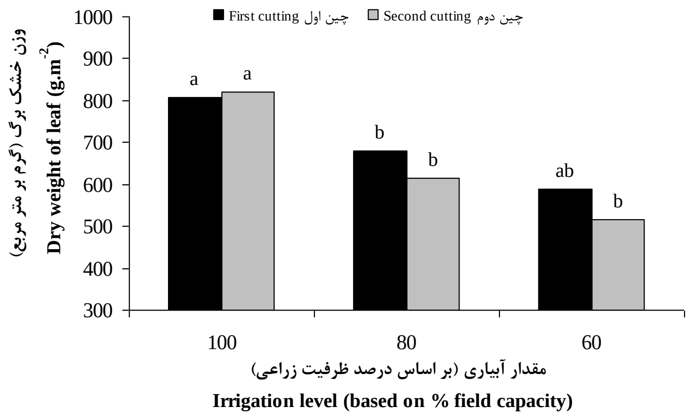
2- *Thymus vulgaris*

3- *Chamaemelum nobile*

شیمیایی در مقایسه با کودهای دامی و ورمی‌کمپوست، به‌طور میانگین در رتبه سوم قرار گرفتند (جدول ۵). این در حالی است که کاربرد نیتروژن به فرم شیمیایی می‌تواند از طریق تحریک رشد رویشی موجب افزایش تعداد و سطح برگ گردد. به نظر می‌رسد که محدودیت رطوبت و آبشویی نیتروژن به دلیل بافت سبک و شنی منطقه موجب کاهش تأثیرگذاری کود شیمیایی شده است و بر اساس قانون لیبیگ، وجود عامل محدودکننده رطوبت موجب تشدید این امر شده که در نتیجه تأثیر رطوبت و تیمارهای مؤثر بر فراهمی رطوبت همچون تیمار کود گاوی در نتایج به‌دست آمده بسیار مهمتر از تأثیر کود شیمیایی بروز نموده است.

برداشت گیاه در چین اول احتمالاً به دلیل تحریک رشد شاخه‌های جانبی افزایش تعداد برگ در چین دوم را بیش از ۱۰۰ درصد موجب گردید (جدول ۶). این نتایج با مطالعه یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2015) بر عملکرد یونجه همدانی[1] تحت تأثیر نوبت چین مطابقت دارد.

وزن خشک برگ و ساقه: همانگونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، وزن خشک برگ و ساقه وسمه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفتند (p≤۰/۰۵). در چین اول، وزن خشک برگ با کاهش مقدار آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۷ درصد کاهش یافت. میزان این کاهش برای چین دوم برابر با ۳۷ درصد تعیین گردید (شکل ۲). میزان کاهش وزن خشک ساقه تحت تأثیر افت محتوی آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در چین‌های اول و دوم به‌ترتیب برابر با ۳۲ و ۲۸ درصد محاسبه شد. هرچند بین تیمارهای ۸۰ و ۶۰٪ محتوی رطوبتی بر اساس ظرفیت زراعی خاک از نظر وزن خشک برگ و ساقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، البته افزایش مقدار آبیاری به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به دلیل رشد بیشتر، عملکرد بالاتر وزن خشک برگ و ساقه را موجب گردید (جدول ۵). به‌طور کلی، اگرچه کشاورزان محلی در منطقه بم تأکید دارند که وسمه از نظر نیاز آبی گیاهی خشکی‌پسند بوده و نیاز آبی آن پایین است، ولی نتایج این مطالعه نشان داد که این گیاه احتمالاً به دلیل سطح بالای اندام‌های رویشی به‌ویژه برگ‌های نسبتاً زیاد، پتانسیل بالایی در تعرق داشته که این امر موجب افزایش نیاز آبی آن می‌گردد. به طوری‌که کاهش حجم آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک، افت عملکرد اندام‌های هوایی را به دنبال داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مقدار آبیاری بر وزن خشک برگ وسمه طی دو چین

Figure 2- Mean comparisons for the effect of irrigation levels on dry weight of leaf of indigo at two cuttings

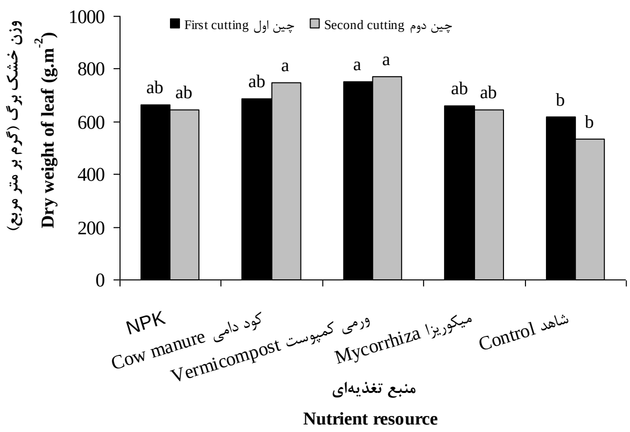
میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند (p≤۰/۰۵).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test (p≤0.05).

همانگونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، وزن خشک برگ وسمه تنها در چین دوم آزمایش تحت تأثیر معنی‌دار منابع مختلف تغذیه‌ای قرار گرفت (p≤۰/۰۱)، اما وزن خشک ساقه در هیچ‌کدام از چین‌ها تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی واقع نشد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک برگ در چین اول و دوم در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب با ۷۵۱/۱۱ و ۷۶۹/۲۴ گرم در متر مربع به‌دست آمد (شکل ۳). بیشترین وزن خشک ساقه در چین‌های اول و دوم برای مصرف کود دامی به‌ترتیب با ۷۲۰/۰ و ۱۱۵۱/۱ گرم در متر مربع مشاهده شد کمترین وزن خشک برگ و ساقه به شاهد در چین اول به‌ترتیب با ۶۶۲/۲۲ و ۵۸۰/۱ گرم در متر مربع و در چین دوم با ۵۳۶/۲۱ و ۶۷۰/۷ گرم در متر مربع اختصاص داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی همچون دامی و

1- *Medicago sativa* L.

ورمی‌کمپوست با بهبود ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری ضمن افزایش نفوذپذیری خاک، میزان هوموس و ظرفیت بافری خاک و فعالیت برخی آنزیم‌ها (Atiyeh, 2001) را بهبود داده که در نتیجه سبب تشدید جمعیت و فعالیت میکروبی خاک گردیده است. علاوه بر این، کودهای آلی دارای میزان زیادی ماده آلی و عناصر غذایی بوده (جدول‌های ۲ و ۳) که می‌توانند به مرور زمان در اختیار گیاه قرار دهند و این امر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون بم که خاک‌ها از ماده آلی و حاصلخیزی کمتری برخوردار هستند (جدول ۱)، به‌طور ویژه‌ای اهمیت دارد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر وزن خشک برگ وسمه طی دو چین

Figure 3- Mean comparisons for the effect of manure types on dry weight of leaf of indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چندامنه‌ای دانکن ندارند ($p\leq۰/۰۵$).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

از طرفی، مقایسه وزن خشک برگ و ساقه وسمه در چین‌های مختلف مشخص نمود که مقادیر این صفات در چین دوم به‌ترتیب با ۱۴ و ۵۰ درصد بالاتر از چین اول بود (جدول ۶). بالاتر بودن این خصوصیات را می‌توان به این موضوع نسبت داد که کودهای آلی احتمالاً از طریق آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز، موجب تحریک رشد گیاه شده‌اند. از سوی دیگر، این نهاده‌های آلی علاوه بر عناصر پرمصرف به مقدار کمتر دارای عناصر کم‌مصرف نیز بوده که در درازمدت ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را به سمت تعادل پیش خواهند برد. در همین راستا، شباهنگ و همکاران (Shabahang *et al*., 2013) نیز بهبود ۵۸ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی زوفا[1] را در چین اول در مقایسه با چین دوم گزارش نمودند.

عملکرد کل اندام‌های هوایی: اعمال سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد کل اندام‌های هوایی وسمه در هر دو چین آزمایش تأثیر معنی‌داری داشت ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۴). به طوری‌که مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری در چین اول نشان داد که بیشترین عملکرد کل اندام‌های هوایی مربوط به سطح ۱۰۰ درصد آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی با ۱۵۸۹/۳ گرم در متر مربع به‌دست آمد که نسبت به ۶۰٪ ظرفیت زراعی برابر با ۳۰ درصد افزایش نشان داد. در چین دوم با افزایش مقدار آبیاری از ۶۰ به ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی خاک عملکرد کل اندام‌های هوایی ۲۹ درصد افزایش یافت (جدول ۵) که این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش تعداد برگ در بوته (جدول ۵) و وزن خشک برگ و ساقه (جدول ۵ و شکل ۳) باشد. افزایش میزان رطوبت خاک احتمالاً از طریق افزایش آماس سلولی و به تبع آن بهبود توسعه سلولی موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و افزایش میزان تجمع ماده خشک اندام‌های رویشی، در نهایت، عملکرد کل اندام هوایی گردید. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2013) با بررسی اثر فاصله آبیاری بر رشد و عملکرد مرزنجوش اظهار داشتند که با افزایش فاصله آبیاری و اعمال تنش رطوبتی، رشد و عملکرد بیولوژیکی این گیاه دارویی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

همچنین عملکرد کل اندام‌های هوایی در چین دوم در مقایسه با چین اول ۳ درصد بالاتر بود (جدول ۶). چنین به نظر می‌رسد که بعد از برداشت بوته‌ها در چین اول، رشد شاخه‌های جانبی تحریک شده و در نتیجه تولید جوانه‌های جدید از محل طوقه افزایش یافته که این امر باعث رشد بهتر و در نتیجه عملکرد بالاتر اندام‌های هوایی در چین دوم در مقایسه با چین اول شده است. در همین رابطه زمانیان

1- *Hyssopus officinalis* L.

(Zamanyan, 2009) با مطالعه بر روی عملکرد ارقام مختلف شبدر قرمز[1] به نتایج مشابهی دست یافت.

همانگونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، عملکرد کل اندام‌هوایی وسمه تحت تأثیر معنی‌دار منابع مختلف تغذیه‌ای قرار نگرفت. با این‌وجود، بیشترین عملکرد کل اندام‌های هوایی در چین‌های اول و دوم مربوط به کود دامی به‌ترتیب با ۱۴۷۱/۱ و ۱۹۲۴/۱ گرم در متر مربع بود. کمترین مقدار این صفت در شاهد برای چین‌های اول و دوم به‌ترتیب با ۱۲۲۰/۰ و ۱۲۰۷/۶ گرم در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۵). وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاهان عمدتاً به‌عنوان یکی از نشانگرهای مهم وضعیت رشدی، مدنظر محققین قرار می‌گیرد. مصرف کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست علاوه بر تأمین نسبی عناصر غذایی (Liuc and Pank, 2005)، می‌تواند منجر به افزایش ماده آلی و بهبود قابلیت نگهداری آب در خاک گردد که اهمیت این موضوع در منطقه بم به دلیل داشتن بافت سبک و دمای بالا دوچندان است و هر عاملی که بتواند در این شرایط موجب افزایش ظرفیت رطوبتی خاک شود، می‌تواند در افزایش تولید محصول نیز به میزان زیادی مؤثر واقع گردد (Warrier *et al*., 2007). بررسی اثر کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی زیره سبز نشان داد که مصرف کودهای آلی و دامی باعث افزایش عملکرد کل اندام‌های هوایی شد (Saied Nejad and Rezvani Moghaddam, 2010). در همین راستا، نتایج مطالعه رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam *et al*., 2013) نیز مؤید تأثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی بر روی رشد و عملکرد کل اندام‌های هوایی گیاه دارویی مرزه[2] بود.

محتوی ایندیگوکارمین: تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که درصد ایندیگوکارمین برگ وسمه تحت تأثیر معنی‌دار مقادیر آبیاری و نوع منبع تغذیه‌ای قرار نگرفت (جدول ۴). با این‌وجود، افزایش مقدار آبیاری از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی باعث کاهش ۳ و ۹ درصدی محتوی ایندیگوکارمین به‌ترتیب در چین‌های اول و دوم شد (جدول ۵). در چین‌های اول و دوم بیشترین محتوی ایندیگوکارمین به‌ترتیب با ۰/۶۱ و ۰/۶۴ درصد به ۶۰٪ ظرفیت زراعی تعلق گرفت که با تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰٪ ظرفیت زراعی در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۵). به‌طور کلی، بروز تنش خشکی و کمبود آب یکی از عوامل اصلی در افزایش درصد ماده مأثره در گیاهان دارویی است؛ به‌طوری‌که هرچه گیاهی بیشتر در شرایط تنش رطوبتی قرار گیرد، میزان ماده مؤثره نیز افزایش خواهد یافت (De-Abreu and Mazzafera, 2005). تا زمانی‌که آب و در نتیجه عناصر غذایی در دسترس گیاه است گیاه کربن را ترجیحاً برای رشد اندام‌های رویشی اختصاص می‌دهد، ولی با کاهش آب، میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه به منظور بقاء بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد. بروز تنش موجب تخصیص بیشتر کربن تثبیت‌شده برای تولید متابولیت‌های ثانویه می‌گردد (Vessey, 2003). دی ابریو و مازافرا (De-Abreu and Mazzafera, 2005) گزارش کردند که تنش آب موجب افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه فنلی در گیاه دارویی گل راعی[3] گردید.

کاربرد کود دامی در چین‌های اول و دوم به‌ترتیب با ۰/۶۴ و ۰/۶۲ درصد بیشترین محتوی ایندیگوکارمین را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

محتوی ایندیگوکارمین طی چین اول ۱۶ درصد بالاتر از چین دوم محاسبه گردید. از آنجا که مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد وسمه و محتوی ایندیگو دمای بالا، شدت نور و بارندگی ناکافی می‌باشد (Sales *et al*., 2006).

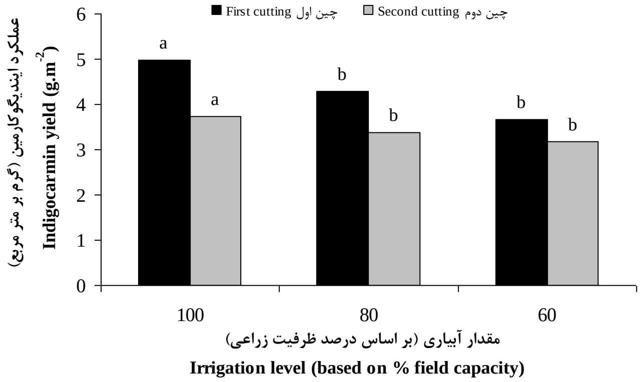
امر و همکاران (Omer *et al*., 1998) نشان داد که استفاده از کودهای آلی هیچ تأثیری بر درصد روغن در میوه‌ها و میزان سیلیمارین ماریتیفال نداشت.

عملکرد ایندیگوکارمین: عملکرد ایندیگوکارمین برگ وسمه در هر دو چین تحت تأثیر معنی‌دار مقدار آبیاری قرار گرفت ($p\leq0/01$) (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر مقدار آبیاری بر عملکرد ایندیگوکارمین نشان داد که بیشترین عملکرد ایندیگوکارمین در چین‌های اول و دوم به‌ترتیب برای سطح آبیاری ۱۰۰٪ بر اساس ظرفیت زراعی خاک به‌ترتیب با ۴/۹۷ و ۳/۷۴ گرم در متر مربع حاصل شد که با سطوح ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی در چین اول (به‌ترتیب با ۱۳ و ۲۶ درصد کاهش نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰٪ بر اساس ظرفیت زراعی خاک) و در چین دوم (به‌ترتیب با ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰٪ بر اساس ظرفیت زراعی خاک) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۴). این کاهش می‌تواند احتمالاً به‌دلیل تجمع املاح نمک تحت تأثیر کاهش محتوی رطوبتی خاک باشد که سبب اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی و در نهایت، کاهش سنتز ماده مؤثره در گیاه می‌شود (De-Abreu *et al*., 2005). همچنین با در نظر گرفتن اینکه عملکرد ایندیگوکارمین از حاصلضرب وزن خشک برگ در درصد ایندیگوکارمین حاصل می‌شود، می‌توان دریافت که علت اصلی بالا بودن عملکرد ایندیگوکارمین در سطح ۱۰۰٪ آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک، مربوط به بالاتر بودن تعداد برگ در بوته (جدول ۵) و وزن خشک برگ (شکل ۲) می‌باشد.

1- *Trifolium pratense*

2- *Satureja hortensis* L.

3- *Hypericum brasilience*



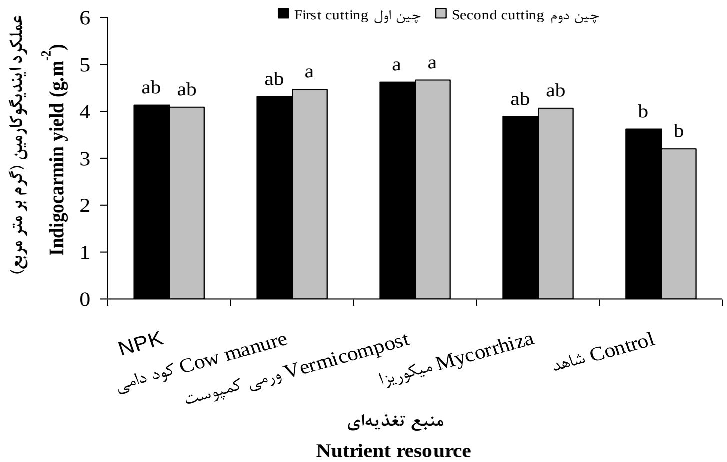
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر مقدار آبیاری بر عملکرد ایندیگوکارمین وسمه طی دو چین

Figure 4- Mean comparisons for the effect of irrigation level on Indigocarmin yield of indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($p\leq۰/۰۵$).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، عملکرد ایندیگوکارمین برگ وسمه در هر دو چین تحت تأثیر معنی‌دار نوع تیمارهـای کـودی قرار گرفت ($p\leq۰/۰۵$). عملکرد ایندیگوکارمین در چین اول در شرایط مصرف ورمی‌کمپوست، کود دامـی، شـیمیایی و میکـوریزا نسـبت بـه شاهد به‌ترتیـب ۲۸، ۱۹، ۱۴ و ۷ درصـد تعیـین گردیـد. میـزان ایـن افـزایش در چـین دوم بـه‌ترتیـب برابـر بـا ۴۵، ۳۹، ۲۸، و ۲۷ درصـد محاسبه شد (شکل ۵).



شکل ٥- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر عملکرد ایندیگوکارمین وسمه طی دو چین

Figure 5- Mean comparisons for the effect of manure treatment on Indigocarmin yield indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($p\leq۰/۰۵$).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

با توجه به اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست بالاترین وزن خشک برگ را نسبت به سایر منابع تغذیه‌ای تولید نمود (شکل ۵)، در نتیجـه ایـن تیمار بیشترین عملکرد ایندیگوکارمین را به خود اختصاص داد. البته از نظر هر دو صـفت عملکـرد بـرگ و عملکـرد اینـدیگوکارمین تفـاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی ورمی‌کمپوست و کود دامی مشـاهده نشد (شکل‌های ۳ و ۵).

بالاتر بودن عملکرد برگ در چین دوم (جدول ۶) احتمالاً به دلیل تحریک تولید جوانه‌های جانبی موجب افزایش ۵۶ درصـدی عملکـرد ایندیگوکارمین در چین دوم در مقایسه با چین اول شد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی خاک به‌طور معنی‌داری خصوصیات رشدی و عملکرد کمی و کیفی گیاه وسمه را در چین‌های اول و دوم تحت تأثیر قرار داد. بر این اساس، با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک و تولید مطلوب عملکرد کمی و کیفی با توجه به میزان آب مصرفی در تولید این گیاه دارویی- صنعتی، می‌توان کاهش مقدار آبیاری بر مبنای ۸۰ درصد ظرفیت زراعی را برای تولید قابل قبول عملکرد کمی و کیفی اعمال نمود.

بر اساس نتایج این مطالعه مصرف منابع تغذیه‌ای آلی همچون کود دامی و ورمی‌کمپوست را به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی می‌توان برای بهبود رشد وسمه مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر بهبود عملکرد کمی و کیفی، می‌تواند در درازمدت نیز علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تحت تأثیر افزایش آبشویی و در نتیجه کاهش تلفات عناصر غذایی، موجب بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و حرکت به منظور نیل به پایداری در بوم‌نظام‌های کشور می‌شود.

References

1. Aliabadi Farahani, H., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., and Khalvati, M. A. 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Medicinal Plants Research 3 (5): 329-333.
2. Alizade, A. 2011. Design of irrigation systems: Designed surface irrigation systems. Emam Reza University Publications, Mashhad, Iran. 452 pp. (in Persian).
3. Aminghafouri, A. 2014. Evaluation of seed production potential of perennial *Ziziphora* in low input cropping system. PhD Thesis, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
4. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J. D. 2005. Influence of vermicompost on field strawberries. Bioresource Technology 93: 145-153.
5. Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Sulber, S., and Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermin compost as component of a horticultural bedding plant medium: effect on physiochemical properties and plant growth. Bioresources Technology 78: 11-20
6. Balandari, A. 2011. Study some echophysiological characteristics and investigation on cultivation aspects of dwarf chicory (*Cichorium pumilum* Jacq.) in Mashhad. PhD Thesis, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
7. Carruba, A., La Torre, R., and Matranga, A. 2002. Cultivation trials of aromatic and medicinal plants in semiarid Mediterranean environment. Proceeding of International Conference on MAP. Acta Horticulturae 576: 207-216
8. Chanayath, N., Lhieochaiphant, S., and Phutrakul, S. 2002. Pigment extraction techniques from the leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. and *Baphicacanthus cusia* Brem. and chemical structure analysis of their major components. Chiang Mai University Journal of Natural of Sciences 1 (2): 149-160.
9. De-Abreu, I. N., and Mazzafera, P. 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasilience* Choisy. Plant Physiology and Biochemistry 43: 241-248
10. Gutiérrez-Miceli, F. A., Moguel-Zamudio, B., Abud-Archila, M., and Dendooven, L. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. Bioresource Technology 99: 7020-7026.
11. Khazaie, H. R., Nadjafi, F., and Bannayan, M. 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage, biomass and oil production of theme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). Industrial Crop Production 27: 315-321.
12. Hendawy, S. F., Ezz El-Din, A. A., Aziz, E., and Omer, E. A. 2010. Productivity and oil quality of *Thymus vulgaris* L. under organic fertilization conditions. Ozean Journal of Applied Sciences 3: 203-216.
13. Kızılkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33: 150-156.
14. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008a. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 285-294. (in Persian with English abstract).
15. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008b. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (3): 758-766. (in Persian with English abstract).
16. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G. A., Seyedi, S. M., and Azizi, H. 2015. Effects of different

levels of animal manure and bulb weights on yield and yield components of caraway (*Bunium persicum* Bioss.). Journal of Plant Production 22 (4): 133-155. (in Persian with English abstract).
17. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Aminghafouri, A., and Shabahang, J. 2013. Effects of biofertilizers and different water volumes in each irrigation on vegetative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agroecology 5 (2): 93-104. (in Persian with English abstract).
18. Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nassiri Mahallati, M. 2007. The effects of irrigation intervals and manure on quantitative and qualitative characteristics of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. Asian Journal of Plant Sciences 6 (8): 1229-1234.
19. Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nassiri Mahallati, M. 2004. Organic cultivation of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (1):67-79. (in Persian with English abstract).
20. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2013. The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corm for climate change adaptation. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 390-400. (in Persian with English abstract).
21. Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. Scientia Horticulture 124: 299-305.
22. Liuc, J., and Pank, B. 2005. Effect of vermicompost and fertility levels on growth and oil yield of Roman chamomile. Scientia Pharmaceutica 46: 63-69.
23. Mao, J., Olk, D. C., Fang, X., He, Z., and Schmidt-Rohr, K. 2008. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy. Geoderma 146: 353-362.
24. Norozpoor, G., and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essence percentage of black cumin (*Nigella sativa*). Pajouhesh and Sazandegi 73: 133-138. (in Persian with English abstract).
25. Omer, E. A., Ahmed, S. S., Ezz-El-Din, A. A., and Fayed, T. B. 1998. Seed yield of *Silybum marianum* L. as affected by row spacing and fertilization in new reclaimed lands of Egypt. Egyptian Journal of Horticulture 25: 281-293.
26. Pramod, K., Tyagi Vishnu, K., Rai Ashish, S., Sambath, K., Yogendra, S., Manoj, S., and Manoj, G. 2010. Preliminary phytochemical screening and evaluation of anti–inflammatory activity of ethanolic extract of leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. Journal of current Pharmaceutical Research 3 (1): 47-50.
27. Rezvani Moghaddam, P., Aminghafouri, A., Bakhshai, S., and Jafari, L. 2013. Effect of different manure on *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Field Crops Research 43: 27-33. (in Persian with English abstract).
28. Rezvani Moghaddam, P., Akbar Abadi, M., and Hassanzadeh Aval, F. 2015. Effects of different manure and sowing data on yield and yield component of (*Calendula officinalis* L.). Journal of Agroecology 6 (4): 730-740.
29. Sabet Teimouri, M. 2013. Ecological characteristics if Gol-e-Arvane (*Hymenocrater platystegius*) in natural habitats and evaluation of possibility for domestication under low input cropping system. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
30. Saied Nejad, A. H., and Rezvani Moghaddam, P. 2010. Effect of compost, vermicopmost and cow manure on yield and yield component of (*Cuminum cyminum*). Journal of Agriculture 24 (2):142-148. (in Persian with English abstract).
31. Sajadi Nik, R., and Yadavi, A. R. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phonological stages and grain yield of sesame. Science and Natural Resources 6 (2): 73-99. (in Persian with English abstract).
32. Sales, R., Kanhonou, C., Baixauli, A., Giner, D., Cooke, K., Gilbert, I., Arrillaga, J. S., and Ros, R. 2006. Sowing date, transplanting, plant density and nitrogen fertilization affect indigo production from *Isatis* species in a Mediterranean region of Spain. Industrial Crops and Products 23: 29-39.
33. Sallaku, G., and Shaalan, M. N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agriculture Research 83: 811-825.
34. Shabahang, J., Khoramdel, S., Siahmarguee, A., and Gheshm, R. 2013. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology 6 (2): 353-363. (in Persian with English abstract).
35. Stoker, K. G., Cooke, D. T., and Hill, D. J. 1998. An improved method for the large-scale processing of woad (*Isatis tinctoria*) for possible commercial production of woad indigo. Journal of Agricultural Engineering Research 71: 315-320.
36. Tabrizi, L. 2005. Effect of water stress and manure on quantitative and qualitative characteristics of Psyllium.

M.Sc. Thesis, Faculty Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (in Persian with English abstract).
37. Vessey J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil 255: 571-586.
38. Warrier, P. K., Nambiar, V. P. K., and Ramankatty, C. 2007. Indian Medicinal Plants. Published by Universities Press (India) Orient Longman Private Limited.
39. Yazdani, A., Naderi, R., Fazeli, A., and Bahrani, M. J. 2015. Effect of planting methods and seeding rates on yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.) CV. Hamedani in Bajgah, Fars Province. Journal of Crop Production and Processing 5 (15): 167-175. (in Persian with English abstract).
40. Zamanyan, M. 2009. Assessment and comparison of potential forage yield of red clover cultivars. Journal of Seed and Plant Improvement 1: 1-25. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 49-65

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۶۵-۴۹

The Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Qualitative and Quantitative Yield of Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) at Irrigation Levels under Bam Climatic Conditions

N. Modafe Behzadi[1]- P. Rezvani Moghaddam[2*]- M. Jahan[3]

Received: 09-04-2016
Accepted: 23-11-2016

Introduction

Medicinal plants are valuable resources in a wide range that scientific identification, cultivation, development and proper utilization of them can have very important role in community health, employment and non-petrol exports. Quality of medicinal plants is more important than other crops. The impact of environmental factors is significant on quality and quantity of medicinal plants. Among the environmental effective factors, irrigation and manure can be managed. Drought is considered as one of the most important factors that limited plant production in arid and semi-arid areas, where such areas are subjected to a wide range of climate variations. Water deficit stresses, permanent or temporary, limits the growth and distribution of natural vegetation and yield of cultivated plants more than any other environmental factor. Under water limitation conditions, yield of plants depend on water available content and water use efficiency. Indigo carmine is considered as a highly toxic indigoid dye . Indigo blue dye's main component is indigotine which is extracted from the leaves of indigo). *Indigo carmine* is also one of the oldest dyes and it is still one of the most used in textile industry. The aims of this study were evaluation of qualitative and quantitative criteria of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) under Bam climatic conditions.

Materials and Methods

An experiment was conducted as strip plot based on a randomized complete block design with three replications at the Bam, Iran, during growing seasons of 2012-2013. Four nutrient resources (such as NPK, cow manure vermicompost, Mycorrhiza and control) and three drought stress levels based on %FC (including 100, 80 and 60 percent) were considered as experimental factors. Plant height, canopy diameter, number of branches, dry weight of leaf, dry weight of, dry yield of shoots (above ground matter), indigocarmin content and indigocarmin yield of indigo were measured and calculated.

Results and Discussion

The results showed that at the first and second cuttings, the highest dry weight of leaf (with 751.11 and 769.24 g m^{-2}, respectively) and indigocarmin yield (with 4.62 and 4.66 g.m^{-2}, respectively) were observed for vermicopmost. Increasing soil water content from 60 to 100% FC at the first and second cuttings caused to increase dry weight of leaf (with 37 and 100%, respectively). Decreasing soil water content caused to reduce the dry matter yield of indigo and these highest yields were obtained in 100% FC with 1589.3 and 1829.3 g m^{-2}, respectively. Also, increasing soil water content from 60 to 100% FC caused that indigocarmin content and indigocarmin yield increased with 36 and 18%, respectively. Relationship between soil nutrients and metabolic processes of medicinal plants causes to change of yield quantity or secondary metabolites contents. Therefore, we determined that the best growth condition for indigo was observed for manure and irrigation based on 80% FC.

Conclusions

It was concluded that cow manure could be a good choice for decreasing chemical fertilization application.

Keywords: Bam, Cow manure, Indigocarmin, Medicinal Plant, Mycorithza, Vermicompost

1- Ph.D. Student of Agronomy (Crop Ecology), Faculty of Agriculture, International Campus, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)